محاضرة 03:

بنية العضلة وآلية التقلص العضلي

النسيج العضلي عبارة عن نسيج يؤدي انقباضه وانبساطه إلى انجاز وظيفة حركية في الجسم ، ويحتوي الجسم البشري على 630 عضلة تشكل 40 % من وزن الجسم.

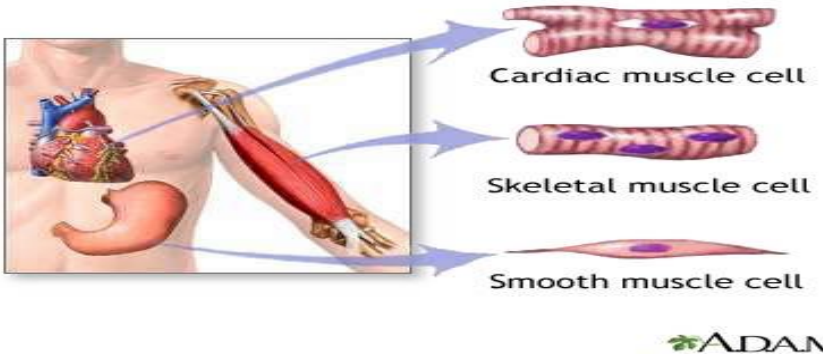
تقوم العضلات بحركات مختلفة و تلعب دورا هاما في حياتنا، فهي تنتج الحرارة الداخلية وتحرك الطعام خلال الجهاز الهضمي و نستطيع بواسطة العضلات وحركة العظام أن نتحرك ونجري ونتكلم ونضخ الهواء في الرئة.

1. مركبات العضلة الكيمائية :

* ماء (75%) * بروتينات (21%) * جليكوجين (2 %) * مركبات عضوية (1%)

* كميات ضئيلة من مواد غير عضوية.

2.أنواع العضلات:



1.2.العضلات المخططة الإرادية: هي العضلات التي يمكن أن نتحكم فيها والتي يمكن أن تؤدي وظيفة معينة، حسب الطلب مثل : عضلات القدم واليد ومئات العضلات في أنحاء الجسم .

هذه العضلات مرتبطة بالهيكل العظمي و مسؤولة عن حركة العظام ولذلك تسمى أيضا عضلات الهيكل العظمي أو العضلات الهيكلية.

العضلات الإرادية تسمى أيضا المخططة لأنها تتركب من ألياف تظهر على شكل خطوط تحت المجهر.

2.2. العضلات الملساء أو اللاإرادية : وهي العضلات التي لا يمكن أن نتحكم فيها وتقوم بانقباضات بطيئة لا إرادية، تتواجد في الأعضاء الداخلية مثل المعدة ، الأوعية الدموية وكيس المثانة

وجهاز الأعصاب المحيطي يتحكم بعمل العضلات الملساء اللاإرادية.

3.2. عضلة القلب: عضلة مميزة يوجد بها مميزات تشبه العضلات المخططة الإرادية ولكن الجهاز العصبي المحيطي يتحكم بعملها، لا يمكن التحكم بعملها بصورة إرادية .

3.وظائف العضلة:

- حماية الأعضاء الداخلية وضمان عملها مثل الأحشاء .
- إنتاج حركة تسمح للإنسان بالاستجابة بسرعة للأحداث التي تحدث في المحيط.
- التنفس.
- إنتاج حرارة في الجسم.
- تخزين الطاقة.
- المحافظة على توازن البدن : عضلات البطن والظهر
- المحافظة على استقرار المفاصل مع الأربطة .

* تتميز العضلات بثلاث خاصيات هي:

- الاهتياج أو قابلية الاستثارة: تتلقى العضلة الرسالة عن طريق السيالة العصبية وتجيب بالتقلص.
- التقلص: للعضلة القدرة على التقلص وبالتالي إنتاج الحركة.
- قابلية التمدد: حيث يمكن للعضلة أن تتمدد أكثر من حالتها أثناء الراحة.

4.الأوعية الدموية في العضلة: نجد داخل العضلة شبكة من الأوعية الدموية

* شرايين تنقل الدم الغني بالأوكسجين والغلوكوز

* أوردة تنقل الفضلات الناتجة عن العضلة و Co2

وشعيرات دموية (مكان التبادل بين الشبكة الدموية والليف العضلي)

5.استثارة العضلة:

يرتبط بالعضلة نوعين من الألياف العصبية:

1- حسية: تجمع المعلومات من العضلة وتنقلها إلى المركز العصبي.

2- حركية: تنقل الأوامر من الجهاز العصبي وباتصالها بالليف العضلي تكون اللوحة المحركة

6.أنواع الاتصالات العصبية العضلية:

1.6. المغزل العصبي العضلي:

هو مستقبلات حسية حساسة للتمدد، تتشكل من ألياف عضلية خاصة يلتف حولها الليف العصبي الحسي، هذه الألياف الخاصة تقع داخل العضلات، وموازية لألياف العضلات ، حيث تسمح عند تمددها في إرسال رسائل حسية للنخاع الشوكي.

الوثيقة 1 : أ - مغزل عصبي عضلي كما يبدو تحت المجهر الضوئي.
ب - رسم تخطيطي لمغزل عصبي عضلي.

2.6. اللوحة المحركة: plaque motrice

اسم يطلق على المشبك العصبي العضلي(عصبون و ليف عضلي)، يتواجد في العضلة تفرعات شجيرية، تشكل نهايات الليف العصبي الحركي مع الألياف العضلية التي يعصبها، وهذا ما يسمى باللوحة المحركة.

وعدد الألياف العضلية في كل لوحة محركة يختلف من عضو إلى أخر:

* العين=13 ليف عضلي(دقيقة جدا)

* عضلة الساق = 1800 ليف عضلي (قوي جدا)

7.بنية الليف العضلي:

تبين الملاحظات المجهرية أن الليف العضلي يتكون من :

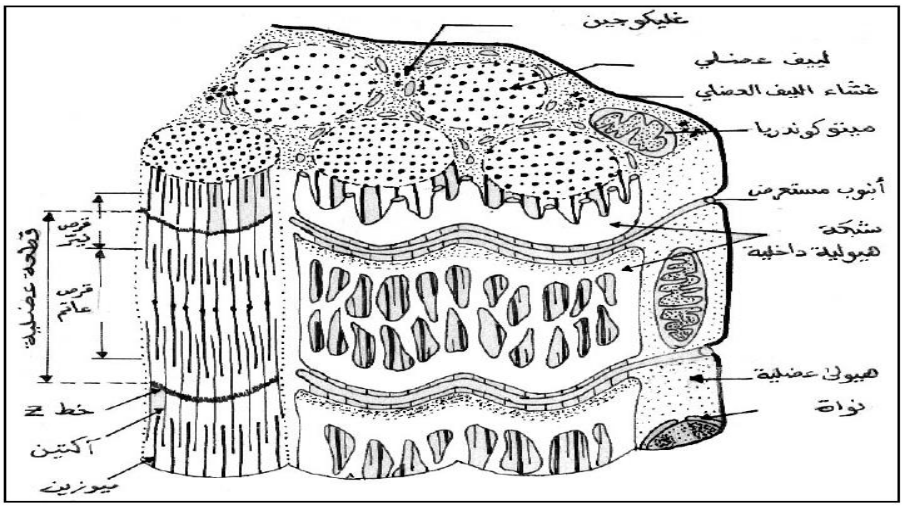
1.7.غشاء الليف العضلي Sarcolemme: و هو غشاء خلوي يصل سمكه إلى 1 ميكرون.

2.7.هيولى عضلية : و هي عبارة عن سيتوبلازم محيطي حبيبي يسمى بالسيتوبلازم العضلي Sarcoplasme ، يحتوي على عدد كبير من الميتوكوندري و عدة مئات من الأنوية.

3.7.مدخرات غذائية: عبارة عن الغليكوجين Glycogene و دسم ، بالإضافة إلى خضاب العضلات Myoglobine الذي يعطي اللون الأحمر للعضلات و ينقل الغازات التنفسية على مستوى العضلات.

4.7.حزم من الليفات العضلية Myofibrilles: عددها 4 ← 8 حزم تكون مرتبة في أعمدة متوازية.

الخلاصة : الليف العضلي عبارة عن خلية عملاقة ذات شكل مغزلي، مدببة الطرفين يصل طولها إلى عدة سنتمترات ، متعددة الأنوية و ذات سيتوبلازم متميز.



- **بالمجهر الإلكتروني :**

نميزإضافة إلى حزم الليفات العضلية أن السيتوبلازم يتركب من :

هيولى أساسية - شبكة فعالة - شبكة ملساء متطاولة - شبكة ملساء مستعرضة تعتبر مخازن لشوارد +Ca2.

8. بنية الليف العضلي :

أ) بالمجهر الضوئي : يبدو بالتكبير القوي مكونا من أقراص عاتمة و أقراص نيرة مرتبة بالتناوب.

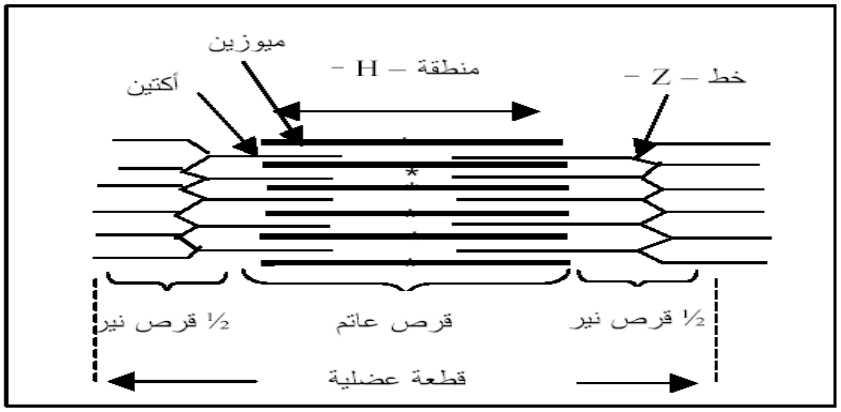
يجتاز كل قرص عاتم في الوسط منطقة H تكون نيرة قليلا. و يجتاز كل قرص نير في الوسط خط عاتم رقيق يسمى Z.

يطلق على المنطقة المحصورة بين خطي Z متتاليين إسم القطعة العضلية (الوحدة المتقلصة).

ب- بالمجهر الإلكتروني :

يبين التكبير المتوسط و القوي أن الليف العضلي يبدو مكونا من نمطين من الخيوط البروتينية هي :

- خيوط سميكة (ثخينة) تسمى خيوط الميوزين MYOSINE .
- خيوط رفيعة تسمى خيوط الأكتين Actine و هي كثيرة العدد مقارنة بخيوط الميوزين



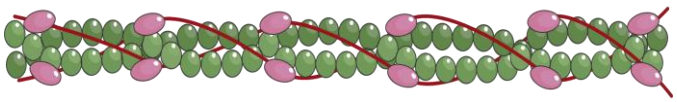
تشكل القطعة العضلية : " الوحدة المتقلصة "

خيوط الميوزين :

سميّت هذه الخيوط بهذا الاسم، لأنها تتكوّن من جزيئات الميوزين، والميوزين هو بروتين معقد، تظهر جزيئة مكوّنة من جزء متطاول هو العصا يحمل في إحدى طرفيه انتفاخا هو الرأس.

تتجمّع جزيئات الميوزين مع بعضها في مجموعات خيطية تضمّ كلّ مجموعة 200 جزيئة وتشكل خيطا عضليا سميكا.

تنتظم جزيئات الميوزين في الخيط العضلي رأسا لعصا بحيث تتوضع الجزيئات بشكل متواز مع بعضها، ومع محور الخيط العضلي. أمّا الرؤوس فتتوضع بشكل بروزات حلزونية.



خيوط الاكتين:

تتركب خيوط الآكتين من ثلاثة أنواع من البروتينات الآكتين، التروبوميوزين والتروبونين. أكثرها انتشارا هو الآكتين، عليه سميت هذه الخيوط بهذا الاسم تظهر جزيئة الآكتين بشكل كروي صغير.

تنتظم جزيئات الآكتين مع بعضها في مجموعات وتشكل كل مجموعة خيطا عضليا رفيعا، يظهر كل خيط بالمجهر الالكتروني مكوّنا من سلسلتين من جزيئات الآكتين ملتفتين حلزونيا.

يتوضع التروبونين بانتظام على امتداد خيط الآكتين وله خاصية تثبيت شوارد الكالسيوم (Ca^{2+}) بشدّة ممّا يغيّر من شكله.

أما التربوميوزين فيمتد بين جزيئات التروبونين.

9. التقلص العضلي:

<u>في حالة الراحة:</u>

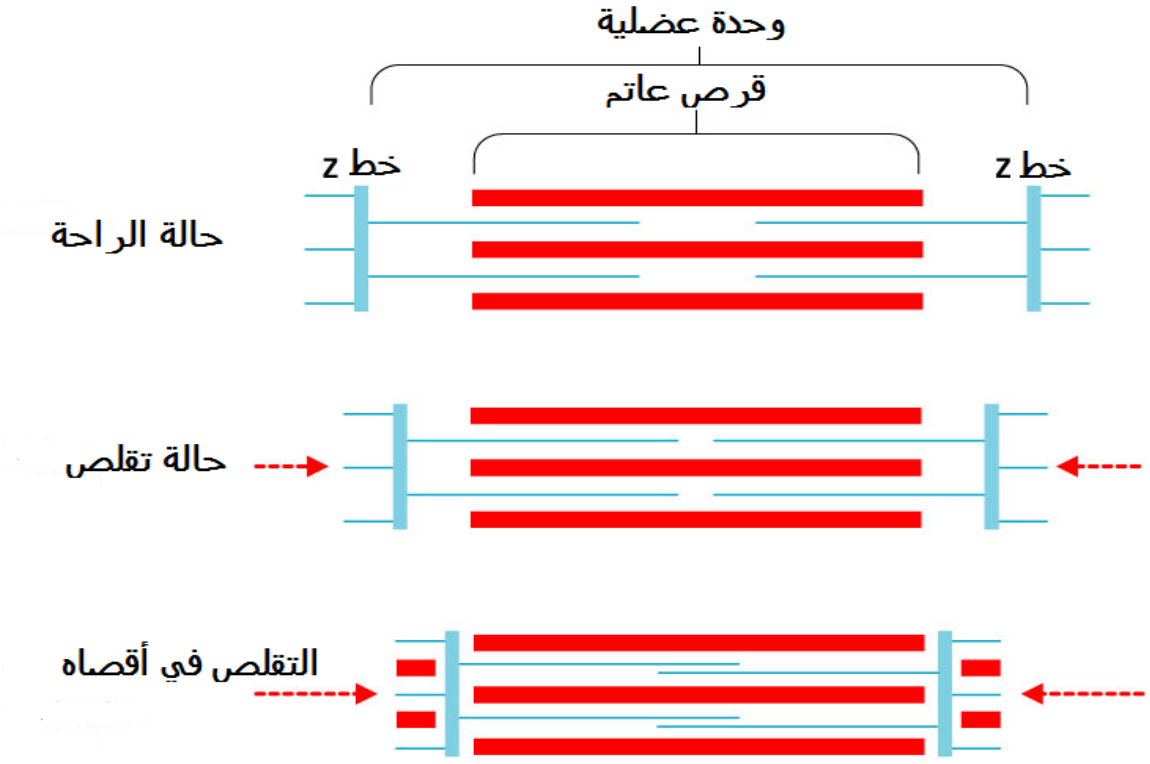
يزداد طول نصفي القرصين النيرين و تتسع مناطق الـ H دون تغير في طول القرص العاتم.

<u>أثناء التقلص</u> **:**

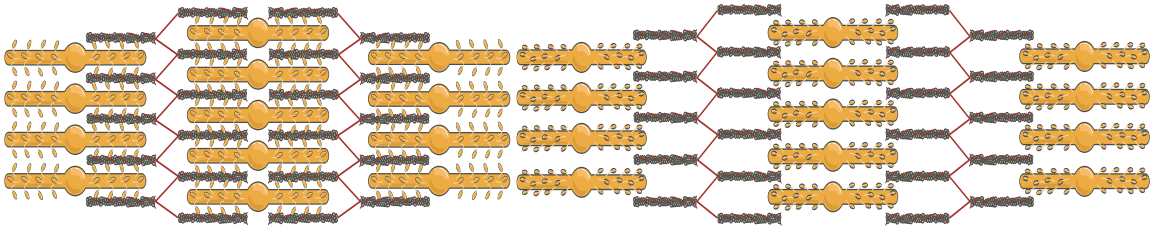
قصر طول الأقراص النيرة

تناقص طول الشريط H إلى غاية اختفائه تقريبا.

بقاء الاقراص العاتمة بدون أي تغير في طولها.



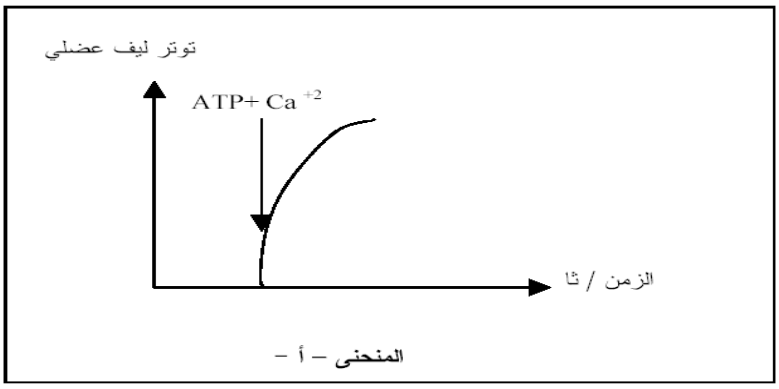
لا يمكن تفسير هذه الملاحظات إلا بحدوث انزلاق خيوط الأكتين ضمن خيوط الميوزين، و بالتالي احتلال خيوط الاكتين لمنطقة الشريط H و بذلك تختفي هذه المنطقة حيث أن الشريط Hهي المنطقة التي لا تحوي سوى خيوط الميوزين.



1.9. متطلبات التقلص العضلي:

لمعرفة الشروط الواجب توفرها لحدوث عملية التقلص العضلي ، نعزل لييفات عضلية و نضعها في محلول فيزيولوجي ملائم ثم نجري عليها التجارب التالية:

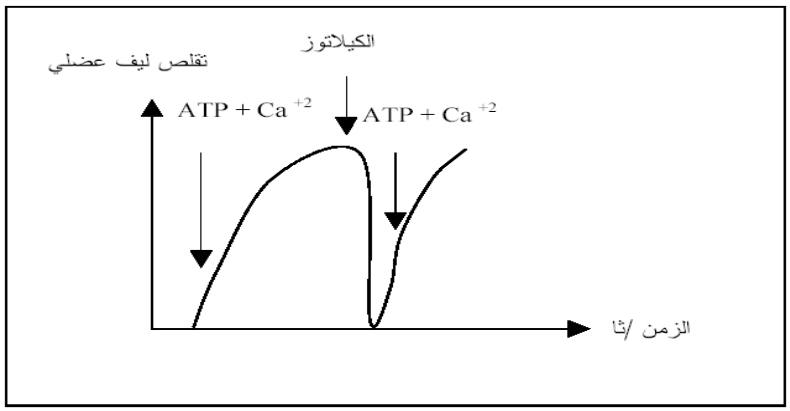
- عند إضافة شوارد Ca ++ و ATP إلى المحلول الفيزيولوجي الذي توجد فيه اللييفات العضلية نحصل على التسجيل التالي. المنحنى أ



المنحنى – أ –

- عند إضافة الساليرغون (مثبت ATP) إلى الوسط تؤدي إلى ارتخاء الليفات العضلية نستنتج أن ATP ضروري لعملية التقلص العضلي.

- نضيف إلى المحلول الفيزيولوجي شوارد ++ Ca و ATP فتتقلص الليفات العضلية ، ثم نضيف إلى الوسط مادة الكيلاتور CHELATEUR و هي مادة تمنع نشاط شوارد++Ca فنحصل على التسجيل التالي.:



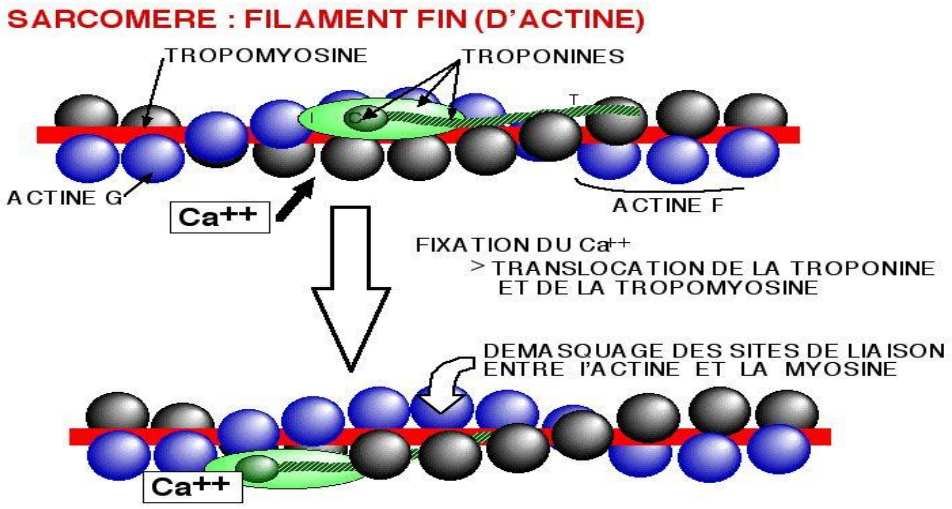
2.9. آلية التقلص العضلي أو **التفسير الجزيئي للتقلص العضلي**:

1 – الالتصاق :

يؤدي تنبيه الليف العضلي بواسطة السيالة العصبية إلى تحرير شوارد الكالسيوم Ca^{2+} من الشبكة الهيولية الداخلية في الهيولي الأساسية للّيف العضلي.

تثبيت هذه الشوارد على التروبونين حيث يغيّر من شكله دافعا التروبوميوزين فتبرز المواقع النشطة للإكتين وتصبح حرّة قابلة للتفاعل مع رؤوس الميوزين.

في نفس الوقت تنتج الميتوكوندريا الـ ATP الذي يثبت على رؤوس الميوزين التي بدورها تغيّر من شكلها وتلتصق بالآكتين، فتتكوّن جسور من الآكتوميوزين.



2 – الإنـزلاق :

يقوم الميوزين المحفز بالآكتين، في وجود شوارد المغنزيوم Mg^{2+} بدور انزيم ATP ase حيث يعمل على إماهة الـ ATP وفق المعادلة التالية :

$$ATP \xrightarrow{\text{ميوزين}} ADP + Pi + E$$

تثبتت مجموعة الفوسفات (Pi) المحرّرة على رأس الميوزين الذي يغيّر من شكله مرّة ثانية، وتدور رؤوس الميوزين المثبتة على الآكتين نحو مركز القطعة العضلية محدثة انزلاق خيوط الآكتين على امتداد الميوزين، وتقتصر القطعة العضلية

فالميوزين والآكتين هما بروتينات محرّكة

يتطلب انفصال الآكتين عن الميوزين تتابع ظاهرتين هما :

- امتصاص فعّال لشوارد Ca^{2+} من طرف الشبكة الهيولية الداخلية.

- تثبيت جزيئة جديدة من الـ ATP على رأس الميورين محرّرة إيّاها عن الآكتين

وهكذا تصبح المواقع النشطة للإكتين وهكذا تصبح المواقع النشطة للإكتين حرّة فتغطى بالتروبوميوزين، وتعود الألياف العضلية إلى حالتها الأصلية حيث تتباعد

خيوط الآكتين عن الميوزين بسبب تقلص ألياف عضلية معاكسة.

10. تجديد جزيئات ATP :

رأينا ممّا سبق أن التقلص العضلي يستهلك الـ ATP، والسؤال المطروح علينا هو :
كيف يتم تجديد هذا الـ ATP لكي يستمر التقلص العضلي؟
وما هي مصادر الطاقة العضلية؟

يتم تجديد ATP التي تتوضع على رؤوس الميوزين بطريقتين :

1. الطريقة السريعة :

أ) إنطلاقا من ADP: تتحد جزيئتان من ADP بواسطة إنزيم خاص بالألياف العضلية لتنتج جزيئة ATP و جزيئة AMP وفق المعادلة التالية:

$$ADP + ADP \xrightarrow{\text{ميوكيناز}} ATP + AMP$$

ب) إنطلاقا من الفوسفاجين Phosphagene: يوجد في الهيولى الأساسية للألياف العضلية مركب عضوي يدعى الفوسفاجين (فوسفوكرياتين Phosphocreatine) و بوجود إنزيم نوعي يفقد مركب الفوسفاجين المجموعة الفوسفاتية التي يستقبلها ADP حسب التفاعل التالي :

$$C \sim P \xrightarrow{\text{إنزيم نوعي}} C + Pi + \text{طاقة}$$

$$ADP + Pi + \text{طاقة} \longrightarrow ATP$$

مع الإشارة أن هذا التفاعل قابل للعكس

2. الطريقة البطيئة :

يتم تجديد الفوسفاجين وATP إنطلاقا من تفكيك الجزيئات العضوية مثل الغليكوجين و الغلوكوز .

أ) في وجود الأكسجين : يتأكسد الغلوكوز كليا إلى CO2 و H2O محررا طاقة تسمح بتجديد ATP و الفوسفاجين و ذلك بفسفرة الكرياتين و يتم ذلك حسب التفاعلات التالية

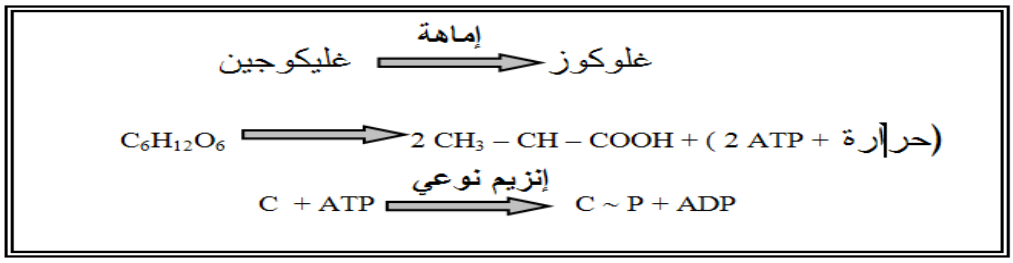
$$(C_6H_{10}O_5)_n + n\,H_2O \xrightarrow{\text{إماهة}} n\,(C_6H_{12}O_6)$$

$$C_6H_{12}O_6 + 6\,H_2O + 6\,O_2 \xrightarrow{\text{إنزيمات تنفسية}} 6\,CO_2 + 12\,H_2O + (38\,ATP + \text{حرارة})$$

$$C + ATP \longrightarrow C \sim P + ADP$$

كرياتين — فوسفاجين

ب)<u>في غياب الأكسجين:</u> يتخمر الغلوكوز حيث يتحول حمض البيروفيك إلى حمض اللبن و يتم إنتاج طاقة قليلة (ATP) فقط مع تراكم حمض اللبن في الخلايا العضلية مسببا التعب العضلي



ملاحظة: مصير حمض اللبن جزء منه يتحول إلى حمض بيروفيك و جزء يتحول في الكبد.

11. مصادر الطاقة :

ما هي مصادر الطاقة العضلية؟

للأجابة عن السؤال سنتعرض للتجارب التالية على العضلةالساقية المعزولة لضفدع.

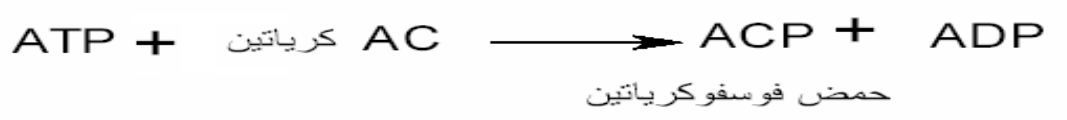
ب – نسمّم العضلة بواسطة حمض اليود الخلي (A.I.A) لتوقيف التحلّل السكري، فتستجيب العضلة بنفس الشروط السابقة، وبمعايرة المواد المذكورة قبل وبعد التقلص كانت النتائج كما يلي :

	قبل التقلص	بعد التقلص
الغليكوجين	1.62	1.62
حمض اللبن	1.5	1.5
الـ ATP	2	2
الفوسفوكرياتين	1.5	0.4

جـ – نضيف للعضلة المسمّمة بحمض اليود الخلي مثبّطا لانزيم الفوسفوكرياتين كيناز Phosphocréatine-Kinase المسؤول عن التفاعل التالي :

أ – ننبّه العضلة – كهربائيا فتستجيب بالتكزز لمدة ثلاث دقائق، وبمعايرة كميات مولد سكر العنب (الغليكوجين) وحمض اللبن و ال ATP والفسفوكرياتين ACP قبل وبعد التقلص؛ حصلنا على النتائج التالية مقدرة بالملغرام لكل غرام من العضلة :

	قبل التقلص	بعد التقلص
الغليكوجين	1.62	1.21
حمض اللبن	1.5	1.95
الـ ATP	2	2
الفوسفوكرياتين	1.5	1.5



فتتقلّص العضلة بصورة عادية ثم تتوقف، ونتائج معايرة المواد السالفة الذكر كانت كما يلي :

	قبل التقلص	بعد التقلص
الغليكوجين	1.62	1.62
حمض اللبن	1.5	1.5
الـ ATP	2	0
الفوسفوكرياتين	1.5	1.5

تفسير النتائج :

أ – نلاحظ من تحليل نتائج الجدول ثبات كل من الـ ATP وحمض الفوسفوكرياتين بينما تتناقص كمية –حمض اللبن- ممّا يدلّ على أنّ العضلة قامت بإماهة الغليكوجين الذي ينتج عنه تشكل حمض اللبن وفق المعادلة التالية :

غليكوجين ← غلوكوز← حمض البيروفيك ← حمض اللبن ← ATP

ب – نلاحظ ثبات كل من الغليكوجين وحمض اللبن و الـ ATP، بينما تتناقص كمية حمض الفوسفوكرياتين ممّا يدلّ على أنّ العضلة قامت بإماهة ACP وفق المعادلة التالية :

$$ADP + \text{كرياتين فوسفات} \quad ACP \longrightarrow ATP + AC \quad \text{كرياتين}$$

جـ – نلاحظ ثبات كل من الغليكوجين وحمض اللبن و ACP، بينما لتناقص كمية الـ ATP ثمّ تنعدم، ممّا يدلّ على أنّ العضلة قامت بإماهة الـ ATP وفق المعادلة التالية :

$$H_2O + ATP \longrightarrow AMP + ADP$$

من خلال نتائج التجارب السابقة نستنتج أنّ العضلة تتحصل على الطاقة من مصادر مختلفة وهي :

- الغليكوجين
- حمض الفوسفوكرياتين ACP
- الـ ATP